

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-061326  
 (43)Date of publication of application : 28.02.2003

(51)Int.Cl. H02K 29/00  
 H02K 1/14  
 H02K 1/27  
 H02K 21/22  
 // H02K 1/16

(21)Application number : 2001-240841 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

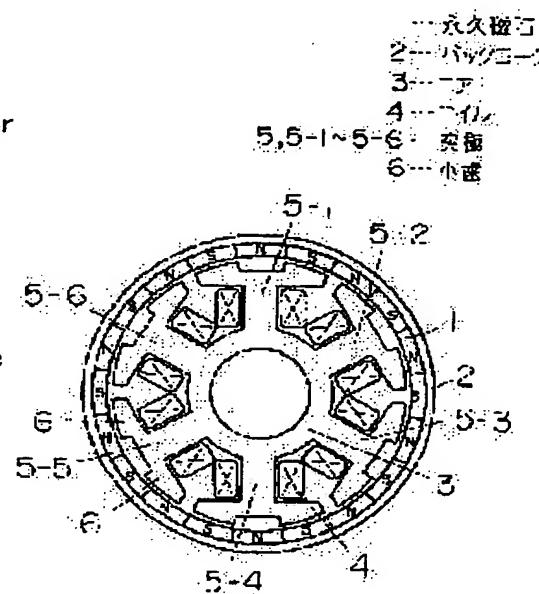
(22)Date of filing : 08.08.2001 (72)Inventor : FUJINAKA HIROYASU

#### (54) VERNIER-TYPE BRUSHLESS MOTOR

##### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enhance the volumetric efficiency of a brushless motor used as a driving source for equipment.

**SOLUTION:** The brushless motor is provided with a rotor having a magnet body which is alternately magnetized in north pole and in south pole in the direction of rotation; and a core 3 provided with a plurality of salient poles 5 which are opposed to the magnet in the radial direction, form magnetic circuits, and have coils 4 wound thereon. A plurality of small teeth 6 with the pitch substantially equivalent to two poles of the magnet are formed on the portions of the salient poles opposite the magnet, and the rotor is rotationally driven by energizing the coils according to the position of the rotor. Thus, the volumetric efficiency of the brushless motor is significantly enhanced.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-61326

(P2003-61326A)

(43)公開日 平成15年2月28日 (2003.2.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F 1	テマコート(参考)
H 02 K 29/00		H 02 K 29/00	Z 5 H 00 2
1/14		1/14	Z 5 H 01 9
1/27	5 0 2	1/27	5 0 2 A 5 H 6 2 1
21/22		21/22	5 0 2 H 5 H 6 2 2
			M

審査請求 未請求 請求項の数26 O.L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2001-240841(P2001-240841)	(71)出願人 000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22)出願日	平成13年8月8日 (2001.8.8)	(72)発明者 藤中 広康 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
		(74)代理人 100097445 弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

最終頁に続く

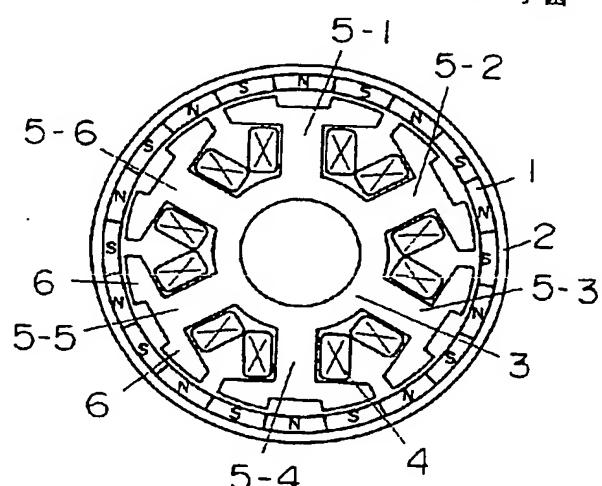
(54)【発明の名称】 バーニヤ型ブラシレスモータ

(57)【要約】

【課題】 機器の駆動源に使用されるブラシレスモータにおいて、モータの体積効率を向上することを目的とする。

【解決手段】 回転方向にN極、S極を交互に着磁したマグネット体を有するロータと、前記マグネットとラジアル方向に対向し磁気回路を構成しコイル4が巻回された複数の突極5を設けたコア3とを有し、前記突極の前記マグネットと対向する部分には、マグネット2極分と略同一ピッチの小歯6が複数個設けられており、前記ロータの位置に応じてコイルに通電することにより、ロータを回転駆動するもので、ブラシレスモータの体積効率が大幅に向上する。

- 1 … 永久磁石
- 2 … バックヨーク
- 3 … コア
- 4 … コイル
- 5,5-1~5-6 … 突極
- 6 … 小歯



込み型の構造であることを特徴とする請求項1から7のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項13】 永久磁石が所定角度スキー着磁されていることを特徴とする請求項1から9のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項14】 永久磁石の磁極数をp、コアの突極数をz、永久磁石のスキー角度を中心角でθ(°)とした場合に、

【数2】

$$\theta = \frac{360}{k} \pm 10\%$$

(kはpとzの最小公倍数)の関係を満足することを特徴とする請求項13記載のブラシレスモータ。

【請求項15】 ブラシレスモータが3相構造であり、突極に設けられた小歯の開角が電気角で145°～160°であることを特徴とする請求項1から13のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項16】 ブラシレスモータが3相構造であり、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、コアの軸方向断面形状が、回転方向に電気角で60/n°±10%ずつずらしたn個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成したことを特徴とする請求項1から13および1.5のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項17】 突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をn、小歯のピッチを電気角でβ(°)とした場合に、

【数3】

$$\beta = 360 - \left( \frac{60}{n} \pm 10\% \right)$$

の関係を満足することを特徴とする請求項16記載のブラシレスモータ。

【請求項18】 ブラシレスモータが3相構造であり、突極に設けられた小歯の開角が左右で異なるように構成するとともに、その角度差が電気角で60°±10%の範囲であることを特徴とする請求項16記載のブラシレスモータ。

【請求項19】 永久磁石の磁極数をp、コアの突極数をz、永久磁石のスキー角度を中心角でθ(°)とした場合に、

【数4】

$$\theta = \frac{180}{k} \pm 10\%$$

(kはpとzの最小公倍数)の関係を満足することを特徴とする請求項15から18のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項20】 ブラシレスモータが3相構造であり、1相分の突極あたりに設けられた小歯の合計歯数をNとした場合に、コアの軸方向断面形状が、回転方向に電気角で60/N°±10%ずつずらしたN個のコア基本形

### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転方向にN極、S極を交互に着磁したマグネット体を有するロータと、前記マグネット体とラジアル方向に対向し磁気回路を構成しコイルが巻回された複数の突極を設けたコアとを有し、前記突極の前記マグネット体と対向する部分には、マグネット2極分と略同一ピッチの小歯が複数個設けられており、前記ロータの位置に応じてコイルに通電することにより、ロータを回転駆動することを特徴とするブラシレスモータ。

【請求項2】 マグネット体が、最大エネルギー積10MGOe以上の永久磁石で構成されていることを特徴とする請求項1記載のブラシレスモータ。

【請求項3】 ブラシレスモータが3相構造であり、マグネット体の磁極数をp、コアの突極数をz、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、

【数1】

$$p = \left( 2n - \frac{2}{3} \right) z$$

の関係を満足することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項4】 ブラシレスモータが3相構造であり、コアの突極数が6または9極であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項5】 マグネット体には、コアと反対側の面にバックヨーク部が設けられていることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項6】 バックヨーク部が、高透磁率の軟磁性材料の薄板を複数枚軸方向に積み重ねて構成したことを特徴とする請求項5記載のブラシレスモータ。

【請求項7】 磁性材料が珪素を質量比2～6.5%含有させた鋼板であることを特徴とする請求項6記載のブラシレスモータ。

【請求項8】 バックヨーク部が、高透磁率の軟磁性材料の粉末を絶縁体で固着し構成したことを特徴とする請求項5記載のブラシレスモータ。

【請求項9】 マグネット体が、高保磁力の永久磁石材料の粉末を樹脂で固定した永久磁石部分と、高透磁率の軟磁性材料を樹脂で固着したバックヨーク部分の2層構造で構成していることを特徴とする請求項5記載のブラシレスモータ。

【請求項10】 マグネット体を、バックヨークのコアと対向する側の面に複数個の永久磁石を貼り付けて構成したことを特徴とする請求項5から8のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項11】 永久磁石が、磁極ごとに分割して構成されており、各々着磁した後で組み立てられたことを特徴とする請求項10記載のブラシレスモータ。

【請求項12】 マグネット体が、高透磁率の軟磁性材料の薄板を複数枚軸方向に積み重ねて構成したバックヨーク部に複数の永久磁石を挿入した、いわゆる磁石埋め

状を適時組み合わせた形状に構成したことを特徴とする請求項1から13のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項21】 ブラシレスモータが3相構造であり、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、コアの軸方向断面形状が、突極に設けられた小歯の開角が電気角で $145^\circ \sim 160^\circ$ である基本形状をベースとして、回転方向に電気角で $30/n^\circ \pm 10\%$ ずつずらしたn個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成したことを特徴とする請求項1から13のいずれか1項に記載のブラシレスモータ。

【請求項22】 突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をn、小歯のピッチを電気角で $\beta^\circ$ とした場合に、

【数5】

$$\beta = 360 - \left( \frac{30}{n} \pm 10\% \right)$$

の関係を満足することを特徴とする請求項21記載のブラシレスモータ。

【請求項23】 請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備する携帯型情報、AV機器。

【請求項24】 請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備するOA、家電機器。

【請求項25】 請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備するロボット。

【請求項26】 請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備する輸送用機器。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、機器の駆動源に用いられるモータのうち、固定子にバーニヤ（vernier：副尺化、細分化）構造を応用したブラシレスモータに関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】 現在、映像・音響機器、OA機器、家電機器、輸送用機器、FA機器等さまざまな機器に、駆動源としてモータが用いられている。これらの機器は、機器の高機能化に伴い、使われるモータの個数は年々増加する傾向にある。また、モータの性能についても近年、機器の小型化、高速化によって小型でかつ高出力なモータが望まれている。

【0003】 モータの種類としては、誘導電動機、ブラシ付の直流電動機、ステッピングモータ、ブラシレスモータ等さまざまな形態のモータが使用されているが、本発明は、このうちブラシレスモータに関するものである。

【0004】 図32(a)、(b)は、従来のブラシレスモータの一例を示した図である。

【0005】 図32(b)において、永久磁石1は8極

に着磁されており、永久磁石1に対向するコア3にはコイル4を巻回した突極5が6個均等に設けられている。

【0006】 隣り合う突極の、永久磁石磁極の位置関係は電気角で $120^\circ$ ずつ異なっており、同じ位相である5-1と5-4、5-2と5-5、5-3と5-6にそれぞれ3相を割り当て、コイル4に通電を行うことにより、ロータが回転駆動される。

【0007】 以上のように、従来のブラシレスモータは、突極の先端は平坦な場合が一般的である。

【0008】 一方、突極先端に複数の小歯を設ける構成（以下バーニヤ構造と称する）を応用したモータとしては、ブラシレスモータではないがハイブリッド型（以下HB型と称する）ステッピングモータが商品化され一般的に使用されている。以下一般的なHB型ステッピングモータの例を示す。

【0009】 図33は従来のHB型ステッピングモータの構造を示す。図33において永久磁石1は回転軸方向に着磁されており、回転子鉄心11は、上側と下側がそれぞれ全体がN極あるいはS極に磁化された状態となっている。回転子鉄心11の外周面には、等角度ピッチの小歯が設けられ、上側回転子鉄心の小歯と下側回転子鉄心の小歯は、上側回転子鉄心の小歯に相当する位置に、下側回転子鉄心の小歯の谷が来るよう角度をずらして組み立てられている。

【0010】 一方コア3の内周面にも、回転子鉄心11と同じ角度ピッチの小歯が設けられた突極5が複数相設けられており、これら複数相の突極5は、各相の回転子鉄心11の小歯に対する位置関係が一定角度ずつ異ならせて設けられている。ここで各相突極に巻回されたコイルに電流を通電すると、通電された突極の小歯が磁化され、前記永久磁石1によって磁化された回転子鉄心11の小歯とお互いに吸引反発し、一定位置に回転子を固定しようとするトルクが発生する。この状態で、通電するコイルの相を順次切り替えることによりロータが回転駆動される。

【0011】 ここで、回転子鉄心11およびコア3の小歯の角度ピッチを細かくすると、1回の相切り替えによる回転子の回転角が小さくなるため、より細かい角度ピッチの位置決めが行えるモータとなる。

【0012】 このように、固定子および回転子それぞれに細分化されたピッチの小歯を設けることにより、モータ出力軸側の角度分解能を向上し、微細ピッチの位置決めができるようになる。

【0013】 また、同タイプのステッピングモータから着想して、回転子側の小歯を設けた回転子鉄心と軸方向に着磁された永久磁石を、多極着磁された円筒状永久磁石1に置き換えたものとしては、特許第3140814号公報、特許第3071064号公報、特許第2740893号公報記載の永久磁石式ステッピングモータ、特許第2733824号公報記載の2相式永久磁石回転電

機、特開平10-80124号公報記載の永久磁石回転電機、あるいは電気学会論文集D編、115巻2号、平成7年に掲載された新形式3相ステッピングモータがある。

【0014】図34は電気学会論文集D編、115巻2号、平成7年に掲載された新形式3相ステッピングモータのロータ構造を従来のロータ構造と比較した図である。

【0015】この論文では、このような回転子の構成を採ることにより(1)磁束分布が正弦波に近くなる。

(2)磁極の軸方向長さが2倍となる。(3)磁路が2次元磁路になり、磁気抵抗が小さくなるという理由により、結果的には、モータの出力は従来と同等で、中間位置決めを行いうわゆるマイクロステップ駆動した際に角度精度が向上することが示されている。

【0016】一方、ブラシレスモータに関しては、このようなバーニヤ構造を適用した例は殆ど見られない。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、ブラシレスモータに関しては、これまで磁石の性能向上、低損失の鉄心材料、あるいは、巻線の占積率を向上して銅損を低減する技術等の開発により高性能化が図られてきたが、近年開発されたNd-Fe-B系やSm-Fe-N系等の高性能希土類系磁石を使用すると、性能が向上し磁束密度が向上した磁石に対して、鉄心の飽和磁束密度が小さいため、鉄心が磁気飽和状態になり、向上した磁石の性能を十分に引き出せず、ある程度以上性能が向上できない状況に陥っていた。

【0018】一方、上記ステッピングモータを想定して考案された従来技術はバーニヤ構造を主に角度分解能向上のために利用されたものであるため、単位体積あたりの出力を示す出力密度、あるいは、同じ特性のモータをいかに小型化できるかという体積効率といった観点では最適化されておらず、そのままブラシレスモータに適用できる技術ではなかった。

【0019】また、ステッピングモータはその通電方式上、常に一定の電流をコイルに流し続けるので、トルクを発生しない場合は電流を通電しないブラシレスモータの通電方式と比較して、根本的に実効時の効率が悪いという課題があった。

【0020】さらに、ステッピングモータは、位置制御を行う場合には適しているものの、出力トルクを制御することは困難で、出力トルクの制御を行うことが必要な場合は、トルクが制御できるブラシレスモータを使う場合が一般的であった。

【0021】本発明は、上記ステッピングモータのようなバーニヤ構造をブラシレスモータに適用し、さらにブラシレスモータに合わせた最適化を行うことにより、従来のブラシレスモータの体積効率の限界を打ち破り、同サイズでも高出力、高効率のブラシレスモータを提供

することを目的とする。

#### 【0022】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためには、回転方向にN極、S極を交互に着磁したマグネット体を有するロータと、前記マグネットとラジアル方向に対向し磁気回路を構成しコイルが巻回された複数の突極を設けたコアとを有し、前記突極の前記マグネットと対向する部分には、マグネット2極分と略同一ピッチの小歯が複数個設けられており、前記ロータの位置に応じてコイルに通電することにより、ロータを回転駆動したものである。

【0023】これにより、モータの体積効率が大幅に向上し、同一特性のモータの小型化、あるいは同一サイズのモータの高出力化、高効率化が可能となる。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1に記載の発明は、回転方向にN極、S極を交互に着磁したマグネット体を有するロータと、前記マグネット体とラジアル方向に対向し磁気回路を構成しコイルが巻回された複数の突極を設けたコアとを有し、前記突極の前記マグネットと対向する部分には、マグネット2極分と略同一ピッチの小歯が複数個設けられており、前記ロータの位置に応じてコイルに通電することにより、ロータを回転駆動することを特徴とするブラシレスモータであり、突極先端部に小歯を設けることにより、突極には小歯と対向している磁極の部分だけの磁束が選択的に取り入れられる状態となるために、突極数を増やすなくても、小歯の数を増やすことにより、有効磁束数の低下を最小限に留めながら、磁極の多極化が自由に行えるようになるため、モータの体積効率を向上できる。

【0025】請求項2に記載の発明は、マグネット体が、最大エネルギー積10MGoe以上の永久磁石で構成されていることを特徴とする請求項1記載のブラシレスモータで、永久磁石の能力を十分に引き出しモータの体積効率を向上できる。

【0026】請求項3に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、マグネット体の磁極数をp、コアの突極数をz、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、(数1)の関係を満足することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、永久磁石の磁束を最大限に利用し、モータの体積効率を向上できる。

【0027】請求項4に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、コアの突極数が6または9極であることを特徴とするある請求項1から3のいずれか1項に記載のブラシレスモータであり、モータの体積効率を向上できる。

【0028】請求項5に記載の発明は、マグネット体には、コアと反対側の面にバックヨーク部が設けられていることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記

載のブラシレスモータであり、バックヨーク部での鉄損を低減しモータの特性を向上できる。

【0029】請求項6に記載の発明は、バックヨーク部が、高透磁率の軟磁性材料の薄板を複数枚軸方向に積み重ねて構成したことを特徴とする請求項5記載のブラシレスモータで、請求項5の構成方法の1例を示したものである。

【0030】請求項7に記載の発明は、磁性材料が珪素を質量比2~6.5%含有させた鋼板であることを特徴とする請求項6記載のブラシレスモータで、請求項6の構成方法を1例を示したものである。

【0031】請求項8に記載の発明は、バックヨーク部が、高透磁率の軟磁性材料の粉末を絶縁体で固着し構成したことを特徴とする請求項5記載のブラシレスモータで、請求項5の構成方法の1例を示したものである。

【0032】請求項9に記載の発明は、マグネット体が、高保磁力の永久磁石材料の粉末を樹脂で固定した永久磁石部分と、高透磁率の軟磁性材料を樹脂で固着したバックヨーク部分の2層構造で構成されていることを特徴とする請求項5記載のブラシレスモータで、請求項5の構成方法の1例を示したものである。

【0033】請求項10に記載の発明は、マグネット体を、バックヨークのコアと対向する側の面に複数個の永久磁石を貼り付けて構成したことを特徴とする請求項5から8のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、永久磁石の着磁が容易になる。

【0034】請求項11に記載の発明は、永久磁石が、磁極ごとに分割して構成されており、各々着磁した後で組み立てられたことを特徴とする請求項10記載のブラシレスモータで、永久磁石の着磁が容易になる。

【0035】請求項12に記載の発明は、マグネット体が、高透磁率の軟磁性材料の薄板を複数枚軸方向に積み重ねて構成したバックヨーク部に複数の永久磁石を挿入した、いわゆる磁石埋め込み型の構造であることを特徴とする請求項1から7のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、ロータの機械的強度を向上できる。

【0036】請求項13に記載の発明は、永久磁石が所定角度スキー着磁されていることを特徴とする請求項1から9のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、モータのコギングトルクを低減できる。

【0037】請求項14に記載の発明は、永久磁石の磁極数をp、コアの突極数をz、永久磁石のスキー角度を中心角で $\theta$ (°)とした場合に、(数2)(kはpとzの最小公倍数)の関係を満足することを特徴とする請求項13記載のブラシレスモータで、コギングトルクの低減と、モータ体積効率を両立できる。

【0038】請求項15に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、突極に設けられた小歯の開角が電気角で145°~160°であることを特徴とする請求項1から13のいずれか1項に記載のブラシレ

スモータで、モータのコギングトルクを低減できる。

【0039】請求項16に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、前記突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、コアの軸方向断面形状が、回転方向に電気角で $60/n^{\circ}$ ±10%ずつずらしたn個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成したことを特徴とする請求項1から13および15のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、モータのコギングトルクを低減できる。

【0040】請求項17に記載の発明は、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をn、小歯のピッチを電気角で $\beta$ (°)とした場合に、(数3)の関係を満足することを特徴とする請求項16記載のブラシレスモータで、隣り合う突極間の干渉を抑えるとともに、コイルを巻回する際の作業性を向上できる。

【0041】請求項18に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、突極に設けられた小歯の開角が左右で異なるように構成するとともに、その角度差が電気角で60°±10%の範囲であることを特徴とする請求項16記載のブラシレスモータで、モータの回転精度を向上できる。

【0042】請求項19に記載の発明は、永久磁石の磁極数をp、前記コアの突極数をz、永久磁石のスキー角度を中心角で $\theta$ (°)とした場合に、(数4)(kはpとzの最小公倍数)の関係を満足することを特徴とする、請求項15から18のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、コギングトルクの低減と、モータ体積効率を両立できる。

【0043】請求項20に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、1相分の突極あたりに設けられた小歯の合計歯数をNとした場合に、コアの軸方向断面形状が、回転方向に電気角で $60/N^{\circ}$ ±10%ずつずらしたN個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成したことを特徴とする請求項1から13のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、モータのコギングトルクを低減できる。

【0044】請求項21に記載の発明は、ブラシレスモータが3相構造であり、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、コアの軸方向断面形状が、突極に設けられた小歯の開角が電気角で145°~160°である基本形状をベースとして、回転方向に電気角で $30/n^{\circ}$ ±10%ずつずらしたn個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成したことを特徴とする請求項1から13のいずれか1項に記載のブラシレスモータで、モータのコギングトルクを低減できる。

【0045】請求項22に記載の発明は、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をn、小歯のピッチを電気角で $\beta$ (°)とした場合に、(数5)の関係を満足することを特徴とする請求項21記載のブラシレスモータで、隣り合う突極間の干渉を抑えるとともに、コイルを巻回

する際の作業性を向上できる。

【0046】請求項23に記載の発明は、上記請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備する携帯情報、AV機器で、機器の小型化を実現できる。

【0047】請求項24に記載の発明は、上記請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備するOA、家電機器で、機器のサイズを大きくすること無く、小型化、高機能化を実現できる。

【0048】請求項25に記載の発明は、上記請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備するロボットで、ロボットの高機能化を実現できる。

【0049】請求項26に記載の発明は、上記請求項1から22のいずれか1項に記載のブラシレスモータを具備する輸送用機器で、輸送機器の走行性能、燃費を向上できる。

#### 【0050】

【実施例】以下本発明の実施例について、図面を参照して説明する。

【0051】(実施例1) 図1は本発明のブラシレスモータの磁気回路構成を示した説明図である。

【0052】図1において円筒状の永久磁石1は、内周面にN、S極を交互に20極均等に着磁されており、外周にバックヨーク2が固定されている。コア3は珪素鋼板をプレス加工で形状を打ち抜くとともに軸方向に複数枚積層して構成されている。コア3にはコイル4が巻回された突極5が6極均等に設けられ、突極5の永久磁石と対向する部分には、1つの突極あたり2個全体で12個の小歯6が設けられている。ここで突極先端に設けられた小歯6のピッチは永久磁石2極分と同一（言い換えれば電気角36°）ピッチに構成されている。

【0053】以上のように本実施例1のブラシレスモータの最大の特徴は、突極先端部に永久磁石2極分のピッチで小歯を設けたところにある。このように、小歯を設けることにより、突極には小歯と対向している磁極の部分だけの磁束が選択的に取り入れられる状態となる。

【0054】上記構成により、各突極の小歯と、磁極の位置関係を考えると、突極5-1と5-4、突極5-2と5-5、突極5-3と5-6がそれぞれ全く同一の位置であり、各グループの位相が電気角で120°ずつ異なっていることが分かる。ここで、各グループを1相として、永久磁石1が固定されたロータの回転位置に応じてコイル4に3相通電を行うことによりトルクが発生し、ロータが回転駆動される。

【0055】ここで、本実施例1のブラシレスモータを、同一サイズの従来型ブラシレスモータと比較して説明する。

【0056】図2および図3は、従来型ブラシレスモータの磁気回路構成を示した説明図である。

【0057】図2において、従来型ブラシレスモータの

突極数は6極で、図1と等しいが、永久磁石に着磁された磁極は8極であり、図1とは異なる。

【0058】ここで、図2の従来型ブラシレスモータにおいて、突極の形状をそのままに、磁極のみ多極化を行うと、突極先端部の幅が、磁極より広くなってしまうことにより、磁極から出た磁束が突極先端部でループする状態となり、トルク発生に寄与する有効磁束密度が減少するために、モータの出力が大幅にダウンする。従って、磁極を増やす場合は、同時に突極数も増やさなければならない。

【0059】図3は、磁極数と突極数の比率をそのままにして、図2のブラシレスモータの磁極の多極化を行った例である。

【0060】図3において、従来型ブラシレスモータの突極数は15極で、図1と異なるが、永久磁石に着磁された磁極は20極であり、図1と等しい。

【0061】このように、本実施例1のように突極先端に複数の小歯を設けるバーニヤ構造をブラシレスモータに用いることにより、突極数を増やすなくても、小歯の数を増やすことにより、磁極の多極化が自由に行えるようになるという効果が得られる。

【0062】以下、図1に示す本発明のブラシレスモータと、図2および図3に示す従来型ブラシレスモータの特性について比較しながら説明する。

【0063】まずここで、モータの体積効率について考える。モータの体積効率を表す値としては、モータの速度変動率の逆数がよく用いられる。

【0064】モータの体積効率 $\eta$ は、一般的に以下に示す関係が成立する。

#### 【0065】

#### 【数6】

$$\eta = \frac{1}{\mu} \propto \frac{(\Phi \times t \times m \times z)^2}{R}$$

【0066】 $\mu$ は速度変動率、Rはモータの相間コイル抵抗、 $\Phi$ はひとつの突極あたりの有効磁束数、tはコイルターン数、mはロータ磁極数、zはコア突極数である。

【0067】ここで、この(数6)に図1に示す本発明の磁気回路構成と、図2および図3に示す従来型の磁気回路構成を当てはめて比較する。

【0068】図4はそれぞれのパラメータを図2に示す従来型ブラシレスモータの値を1として比較した図である。

【0069】まず、有効磁束数 $\Phi$ に関しては、図2に示す従来構成の方が突極の磁極と対向している部分の面積が大きく、有効磁束数が大きい。図1に示す本発明の構成の場合、突極の磁極と対向している部分の面積は、図1の8割にとどまっており、漏れ磁束や無効磁束等を無視すると、有効磁束は従来の0.8倍になる。また、図3の場合は、突極数を増やしたことにより、突極あたり

の有効磁束数は図2の場合の0.4倍に低下する。

【0070】ターン数 $t$ は合わせて設計すると、ロータ磁極数 $m$ は、図2に示す従来型は8極に対して、図1および図3では20極となり2.5倍となっている。

【0071】突極数 $z$ は、図1および図2は6極で等しく、図3では15極となっている。

【0072】相間コイル抵抗 $R$ に関しては図1に示す本発明の構成では、突極先端にバーニヤ構造を設けた関係で、図2に示す従来型の構成に比較して突極先端が大きくなり、巻線スペースが小さくなる関係上、同じターン数を巻く場合線径の細い線を使用する必要があり、結果としてコイル抵抗が上がる。本実施例の場合、コイル抵抗は1.25倍程度に増加している。また図3の場合には、突極数が増えたことにより直列接続されるコイル数が増えたことおよび、隣り合う突極間の隙間が減少したことに、コイルを巻回するスペースが減少し1コイルあたりの抵抗値が増加したことにより、コイル抵抗は図2の場合の4倍程度に上昇する。

【0073】以上の数値を(数6)に当てはめて考えると、本実施例のブラシレスモータの体積効率 $\eta$ は、理論上図2の場合の3.2倍、図3の場合の2倍に達することが分かる。

【0074】このように、従来型ブラシレスモータでも磁極 $m$ の多極化を行うことによりある程度体積効率は向上するものの、コイル抵抗 $R$ が極端に増加し、大きな体積効率の向上は得られない。

【0075】一方、図1に示すバーニヤ型の場合、コイル抵抗 $R$ を大きく増やすことなく、磁極 $m$ の多極化が行えるので、有効磁束数 $\Phi$ は若干低下するものの、トータルとして大幅に体積効率を上昇させることができる。

【0076】以上、理論的には、本実施例1のバーニヤ型ブラシレスモータは、従来型のブラシレスモータに対して体積効率を2倍以上に向上できる。しかしながら、このバーニヤ型ブラシレスモータの体積効率を十分に引き出すには、ある程度の条件が必要である。

【0077】まずその1点は、有効磁束数 $\Phi$ が実際には上記の計算どおりにいかないことによる。

【0078】上記計算で図1のバーニヤ型ブラシレスモータの有効磁束数 $\Phi$ は図2に示す従来型ブラシレスモータの0.8倍であるとしたが、実際にはそれよりも小さい数値になる。以下この理由について簡単に説明する。

【0079】一般的に、永久磁石は着磁極数を増やすと、平均磁束密度が低下する。その理由は、磁極の切り替え部分周辺では、完全な着磁ができないからであり、磁極の切り替え部分では、無着磁部分や着磁が弱い部分が存在するので、図1のバーニヤ型ブラシレスモータの永久磁石の平均磁束密度は、図2に示す従来型ブラシレスモータの永久磁石の平均磁束密度より低下している。

【0080】また、図1に示すバーニヤ型の磁気回路構成は、その構成からトルクの発生に寄与しない無効磁束

が多く発生する。

【0081】図5は、実施例1のブラシレスモータの磁束の流れを示した図である。

【0082】図5において矢印は磁束の流れを示している。モータの発生トルクに寄与する磁束は、突極5から入り込み、別の突極5より永久磁石1に戻るが、図5に示すようにコアを通らずに永久磁石周辺でループしている磁束7-1、あるいは、一応コアは通過するものの、漏れ磁束となっている磁束7-2等が多く発生している。

【0083】このような、永久磁石平均磁束密度の低下、あるいは無効磁束を考慮すると、上記計算で0.8倍と仮定した有効磁束数 $\Phi$ は、実際には従来型の半分程度にまで低下するため、本実施例1の構成の体積効率面での優位性は大部分が失われてしまう。

【0084】しかしながら、この状況は永久磁石の性能を向上することで一変する。

【0085】図6は、本実施例1のバーニヤ型ブラシレスモータと従来型ブラシレスモータの永久磁石の最大エネルギー積と、体積効率の関係を示した図である。

【0086】図6において、横軸は永久磁石の性能を表す最大エネルギー積(MGOe)である、従来型ブラシレスモータの場合、永久磁石の性能が低い場合は、永久磁石の性能向上に伴いほぼ直線的に体積効率が向上するが、最大エネルギー積10(MGOe)前後からその上昇度合いが鈍化し、最大エネルギー積15(MGOe)以上では、殆ど体積効率が上昇しなくなる。これは、コアに使用されている珪素鋼板の飽和磁束密度が1.6~2.0(T)程度であり、永久磁石の性能が向上した場合、永久磁石の発生する磁束密度に対してコアの飽和磁束密度に余裕がないため、永久磁石の厚みを極端に薄くして、動作点での磁束密度を抑えて使用する必要があるためあり、永久磁石の性能を向上しても、永久磁石が薄くなる分僅かに体積が小さくなる以外殆ど体積効率が向上できない。

【0087】現在開発されている最高性能のNd-Fe-B系焼結永久磁石等の最大エネルギー積は45~50(MGOe)程度に達しているが、従来型のブラシレスモータでは、この永久磁石の能力は十分に引き出すことはできず、実際には、コストの面も勘案し最大エネルギー積10(MGOe)前後のNd-Fe-B系樹脂磁石等が一般的に用いられていた。

【0088】一方、本実施例のバーニヤ型ブラシレスモータの場合、多極着磁化による永久磁石平均磁束密度の低下と、無効磁束の発生により、有効磁束数は従来の半分程度に低下しているため、コアの飽和磁束密度にはまだ十分に余裕がある。

【0089】従って、永久磁石の性能を向上することにより、永久磁石の磁束密度を向上すれば、体積効率を大幅に向上することができる。

【0090】図6において、明らかなように永久磁石の最大エネルギー積10 (MGoe) 以上では、本実施例1のバーニヤ型ブラシレスモータが従来型のブラシレスモータに比較して圧倒的に体積効率が高い。

【0091】また、本実施例1では、コア3の突極1極あたりに設けられた小歯6の数は2個であったが、この状態でもある程度以上に永久磁石の性能が向上すると、コアが磁気飽和するが、図7に示すように小歯6の数を3個以上に構成することにより、永久磁石の性能向上に比例してさらに体積効率を向上することができる。

【0092】また、バーニヤ型ブラシレスモータの体積効率を引き出すもう一つの条件は、突極数、磁極数を適切に設定する必要があるということである。

【0093】上記図1ではコアに設けた突極数は6極であり、ロータの磁極数は20極の場合を示したが、一般的にブラシレスモータが3相構造の場合、永久磁石の極数をp、コアの突極数をz、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、(数1)の関係を満足するように設定することにより、隣り合う突極間の隙間が最も小さくなり、突極先端に設けられた小歯と永久磁石が対向している面積が最大となるため、同一の永久磁石を用いた場合の有効磁束数が最大となり、永久磁石の能力を最大限に引き出し、モータの体積効率を向上できる。

【0094】なお、上記ではコアに設けた突極数は6極であり、ロータの磁極数は20極の場合を示しているが、突極数が3極で、磁極数は10極、突極数が9極で、磁極数は30極、突極数が12極で、磁極数は40極といった構成も可能である。

【0095】図8はこれら突極数が異なるブラシレスモータの磁気回路部分のアスペクト比(長さ/外径)と体積効率の関係を示した図である。

【0096】図8に示すとおり、最も体積効率が高いのは突極数が6極の場合であるが、アスペクト比が小さい(言い換えれば軸方向に薄い)場合、9極または12極の場合の方が体積効率が優れている傾向にあり、逆にアスペクト比が大きい(言い換えれば軸方向に長い)場合、3極の場合が体積効率が優れている。

【0097】これは、コアにコイルを巻回した場合、コイルがコアからみ出した部分(いわゆるコイルエンド部)の高さが無視できないためであり、突極数を多くした方が薄型化に適している。

【0098】しかしながら実用的に用いられるアスペクト比0.1~3程度の範囲では、6極または9極が最も体積効率が優れており、一般的には、突極数は6極または9極を選ぶのが適切である。

【0099】さらに、バーニヤ型ブラシレスモータの体積効率を引き出すにはバックヨーク2の性能も非常に重要なとなる。

【0100】図5に示すように、バックヨーク2には非

常に大きな磁束が流れしており、その磁束は場所により大きく異なっていることが分かる。これは、バックヨーク2の磁束がロータ回転により激しく変化することを表している。

【0101】特に本実施例では、磁極数を従来の8極から20極に多極化したことにより、磁束の周波数も高くなり、磁束周波数の2乗に比例して増加する渦電流損失あるいは、磁束周波数に比例して増加するヒステリシス損失ともに従来型より大きなものとなる。

【0102】従って、バックヨークには珪素鋼板を軸方向に積層して使用する、あるいは、絶縁された軟磁性材料の粉末を樹脂等の絶縁体で固着した材質で構成する、またはさらに図9に示すようにマグネット体そのものを、高保磁力の磁性体粉末を樹脂で固着した永久磁石層8と、高透磁率の磁性体粉末を樹脂で固着したバックヨーク層9の2層構造にする等の方法により、バックヨークの高周波磁気特性を向上することにより、バックヨーク部での損失発生を抑え特性を向上できる。

【0103】なお、バックヨークに珪素鋼板を使用する場合は、珪素の含有量が質量比2~6.5%(望ましくは6.5%)であることが望ましい。珪素鋼板の鉄損は珪素が6.5%であるときが最も鉄損が少なく効率が良いが、珪素の含有量を多くすると、鋼板が脆くなり極端に加工性が低下する。従って加工の容易さを考慮して2~6.5%の間の適切な値に設定することにより、加工性と効率を両立することができる。

【0104】またさらに、上記実施例では、永久磁石は円筒状である場合を示したが、図10に示すように、バックヨーク2内周に複数の永久磁石1を並べて接着固定する。あるいは、図11に示すように、バックヨーク2を珪素鋼板を複数枚軸方向に積み重ねて構成し、あらかじめ開けておいた穴の部分に永久磁石を挿入した、いわゆる磁石埋め込み型の構成も可能である。

【0105】このように永久磁石を分割することにより、永久磁石をあらかじめ着磁した状態で組み立てることにより、着磁が容易になり、磁石の能力を引き出しあくなる。

【0106】また、図10に示すように永久磁石をかまぼこ状に成型することにより、隣り合う磁極間の影響を抑制し、有効磁束密度を向上できる。また、図11に示すように永久磁石をヨーク内に埋め込むことにより、機械的強度の優れたロータを構成することができる等の効果も得られる。

【0107】以上本実施例1は、コアが内周にあり、ロータが外周にあるアウターロータ型モータの場合を示しているが、図12に示すように、コアが外周にあり、ロータが内周にあるインナーロータ型の構成も可能であることは言うまでもない。一般的に、モータのトルク特性を重視する場合、マグネットとコアの対向面積を大きくできるアウターロータ型の方が優位であるが、高速応答

を要するモータの場合、ロータの外径が小さく、ロータの慣性モーメントが小さいインナーロータ型が有利な場合もあり、用途に応じて適切な方を選択すればよい。

【0108】(実施例2)コギングトルクは、ロータが回転するとコアと永久磁石の磁気エネルギーが周期的に変化することにより発生するが、バーニヤ型ブラシレスモータの場合、磁極が多極化されている関係で、従来型ブラシレスモータより小さい回転角でより大きな磁気エネルギーの変化を生じ、コギングトルクも大きくなる傾向にある。

【0109】以下実施例2から7では、上記実施例1で示したバーニヤ型ブラシレスモータで問題となるコギングトルクについて、その解決方法を示す。

【0110】図13は本実施例2のブラシレスモータの永久磁石1の着磁分布を示した図である。その他磁気回路の構成は上記実施例1(図1)と全く同じである。

【0111】図13において永久磁石1には磁極の位置が上端部と下端部で異なるように、所定角度 $\theta$ だけスキュー着磁がなされている。

【0112】一般的にバーニヤ型ブラシレスモータの場合、永久磁石の磁極数をp、コアの突極数をzとした場合、コギングトルクの波形は、1回転あたりk回の繰り返し波形となる(kは、pとzの最小公倍数)。

【0113】ここで、永久磁石の着磁をスキュー着磁すると、コギングトルクの波形がコアの積層方向に平均化され、コギングトルクの絶対値が小さく収まる。

【0114】図14(a)は着磁のスキュー角度とコギングトルクの関係を示す図、図14(b)は着磁のスキュー角度とモータ体積効率の関係を示す図である。

【0115】ここで、図14(a)に示すとおり、コギングトルクは、スキュー角度が小さくなるにつれ縮小する傾向にあるが、6°、12°付近で極小値を取り、それ以外では少し高くなる傾向がある。これは、着磁をスキューさせるとコギングトルクの波形がコアの積層方向に平均化されるため、スキュー角度をコギングトルク周期の整数倍と一致させることにより、コギングトルクが極小となることを示している。

【0116】また、図14(b)に示すとおり、モータの体積効率に関しては、スキュー角度を大きくすればするほど悪化する傾向になる。これは、スキュー角度を大きくすると、永久磁石の上下端では、磁極の位相が異なるため、適切な通電位相とずれた状態でコイルに通電する状態となり、モータの体積効率が低下するためである。

【0117】上記から明らかなように、モータのコギングトルクの低減と、体積効率を両立させるためには、スキュー角度 $\theta$ をコギングトルク1周期分にあたる6°にするべきである。

【0118】なお、永久磁石の軸方向長さと、コアの軸方向長さが等しい場合は、上記のように、スキュー角度

$\theta$ をコギングトルクの周期と一致させたが、永久磁石の軸方向長さと、コアの軸方向長さが異なる場合、若干角度を上下させた方がコギングトルクが小さくなる場合があり、永久磁石の磁極数をp、コアの突極数をzとした場合、一般的には(数2)の関係が成立するようにスキュー角度 $\theta$ を設定することで、コギングトルクの低減と、モータ体積効率を両立できる。

【0119】(実施例3)上記実施例2では、着磁にスキュー角度を設ける方法を示したが以下実施例3では、コアの形状を工夫することによりコギングトルクを低減する方法を示す。

【0120】図15は本実施例3のコア形状を示す説明図である。

【0121】図15において、コア3の形状は、図1に示す実施例1のコア形状と比較して、突極5先端の小歯6の開角 $\alpha$ が異なる以外全く同じ形状である。

【0122】ここで、小歯の開角 $\alpha$ を変化させると、コギングトルクは大きく変化する。

【0123】図16は小歯の開角を変化させた場合のコギングトルク波形を示した図である。

【0124】図16(a)は小歯の開角が電気角で120°の場合、図16(b)は小歯の開角が電気角で150°の場合、図16(c)は小歯の開角が電気角で180°の場合を示している。

【0125】図16(a)に示すとおり、コギングトルクは回転電気角360°に対し6回の繰り返し波形となっている。これは突極数と磁極数の最小公倍数に一致する。これは本実施例のモータに限ったことではなく、同様にバーニヤ型のブラシレスモータではコアの突極数と磁極数の最小公倍数に一致した周期のコギングトルクが発生するのが一般的である(以後この周期を基本コギングトルク周期と呼ぶ)。

【0126】また、図16(c)の小歯6の開角 $\alpha$ を大きくした場合では、コギングトルクの周期および絶対値は図16(a)の場合とほぼ等しいものの、コギングトルクの位相が正反対の波形となっている。

【0127】一方、図16(b)の小歯6の開角 $\alpha$ を電気角で150°にした場合は、コギングトルクの周期が基本コギングトルク周期の2倍の周波数のコギングトルクが発生しているとともに、絶対値自体も大幅に小さくなっている。

【0128】この理由について、図17、18を用いて説明する。

【0129】分かりやすくするために、図17において永久磁石1の磁極のN極とS極の切り替え部分が小歯6のエッジ部6-1に差し掛かった状態を考える。

【0130】図17に示したように永久磁石1の磁極切り替え部分が小歯6のエッジ部6-1に差し掛かるところ、永久磁石1と小歯6の間の磁気エネルギーが変化し図18(a)に示すようなトルクが発生する、この波形は

・小歯6のエッジ部6-1と磁極切り替え部分が一致する近辺でゼロとなる波形である。

【0131】この際小歯6の逆側のエッジ部6-2でも同様に、小歯6のエッジ部6-2と磁極切り替え部分が一致する位置の近辺でゼロとなる波形のトルクが発生する。波形は、図18(b)に示したとおり先のトルクと点対称な波形となる。ここで小歯6の開角を電気角で150°に設定すると、小歯6の両側のエッジ部6-1、6-2で発生するトルクの位相が異なる形となり、両者のトルクがキャンセルされることにより、一つの小歯6では、図18(c)に示すように、3次成分が完全に除去されたトルクとなる。

【0132】結果的にモータ全体で見ると、1次、2次、4次、5次成分は他の小歯で発生する位相が電気角で120°ずつずれたトルクによりキャンセルされるために、図18(d)に示すように、6次以上の成分のトルクが現れ、結果的には基本コギングトルク周期の2分の1の周期のコギングトルクが発生する形となるとともに、コギングトルクの絶対値も小さく収まる。

【0133】なお、上記実施例は、小歯6の開角が電気角で150°の場合が最小となることを示したが、同様に、小歯の開角が電気角で90°、210°とした場合にも、小歯の両エッジで発生するコギングトルクの3次成分が除去され、同様の現象が発生する。

【0134】また、上記実施例は、小歯の開角が150°でコギングトルクが最小になることを示したが、150°から角度がある程度前後した場合を考えると、小歯の開角を電気角で140°または160°とした場合は、小歯で発生するコギングトルクの3次成分は50%除去され、小歯の開角を電気角で145°または155°とした場合は、小歯で発生するコギングトルクの3次成分は74%除去される状態となり、実用的な性能を得るためにには、小歯で発生するコギングトルクの3次成分が約4分の1以下となる145~155°に設定することにより、コギングトルクの基本周期成分が大幅に低減され、コギングトルクを小さく抑えることができる。

【0135】また、小歯6の形状が図19(a)のようにコア半径より小さいRで形成した場合、あるいは図19(b)のように面取り部を設けた場合、あるいは、コアの磁気飽和等の影響を考慮した場合は、磁気特性上は小歯6の開角が狭まった状態に近い条件となり、小歯6の開角 $\alpha$ が若干(電気角にして5°前後)大きい場合にコギングトルクが最小となる現象が発生する場合がある。

【0136】従って、一般的には磁極数、小歯数には関係なく小歯の開角を電気角で145~160°または85~100°または205~220°の間の適切な角度に設定することにより、基本コギングトルク周期の2分の1の周期のコギングトルクが発生し、コギングトルクの絶対値も小さく抑えることができる。

【0137】しかしながら、小歯の開角 $\alpha$ を85~100°に設定した場合は、小歯と永久磁石との対向面積が小さくなるため有効磁束数が低下し、逆に小歯の開角 $\alpha$ を205~220°とした場合は、小歯の開角が磁極の幅より大きくなってしまうため、無効磁束が発生し鉄損が増加するため、どちらも効率を低下させる要因となり、小歯の開角を電気角で145~160°とするのがより望ましい。

【0138】(実施例4) 上記実施例3では、小歯の開角を変えることによりコギングトルクを低減する方法を示したが、本実施例4では小歯のピッチに着目し、コギングトルクを低減する方法を示す。

【0139】図20(a)は本実施例4のコア形状を示す説明図である。

【0140】図20(a)において、コア3の形状は、図1に示す実施例1のコア形状と比較して、突極5先端の小歯6のピッチが異なる以外全く同じ形状である。

【0141】上記実施例1では小歯6のピッチは、磁極2極分(つまり電気角360°)に設定されていたが、図20(a)に示す本実施例4の小歯6のピッチは、上記実施例1より小さい電気角330°に設定されている。

【0142】以下は、このような形状にした理由について簡単に説明する。

【0143】図20(a)の形状は、考え方としては図20(b)のコア3-1の形状の斜線部分と、図20(c)のコア3-2の形状の斜線部分を組み合わせた形状に形成されている。

【0144】ここで、図20(b)に示すコア3-1の形状は、上記実施例1の図1に示すコア形状と同一で、反時計方向に電気角で15°(機械角で1.5°)回した形状であり、図20(c)に示すコア3-2の形状は、コア形状は同一で、前記コア3-1とは逆で、時計方向に電気角で15°(機械角で1.5°)回した形状である。

【0145】それでは、コギングトルクの低減原理について、図21(a)、(b)、(c)を用いて説明する。

【0146】図21(a)の実線部は図20(b)に示すコア3-1で発生するコギングトルク波形である。上記実施例1で述べたが、コア3-1で発生するコギングトルクは、磁極数が20極、突極数が6極であることから、その最小公倍数である1回転に60回、つまり電気角で60°(機械角で6°)の繰り返し波形となっている。ここで、コア3-1の斜線部のみで考えると、丁度全体の半分にあたるので、コギングトルクに関しても半分になり、図21(a)の破線部に示すようなコギングトルク波形となる。

【0147】図21(b)に関しては全く同様で、図20(c)のコア3-2の斜線部分で発生するコギングト

トルクは、図21(b)の破線部に示すようなコギングトルク波形となる。

【0148】ここで、図21(a)のコギングトルク波形と、図21(b)のコギングトルク波形を比較すると、両者はトルクの大きさ、周期は等しいが、位相が $180^\circ$ 異なる波形となっていることが分かる。

【0149】そこで、本実施例4のコア3で発生するコギングトルクの波形は、図20(b)のコア3-1の斜線部分で発生するコギングトルクと、図20(c)のコア3-2の斜線部分で発生するコギングトルクの合成と考えれば良いので、図21(a)の破線部と図21(b)の破線部の合成トルクを考えると、図21(c)に示すように両者のコギングトルクの1次、3次、5次…の成分がキャンセルされ、元のトルク波形より大幅に振幅が小さくなり、周期も元の波形に対し半分の周期になる。

【0150】これによりモータのコギングトルクを小さく抑えることができる。

【0151】なお、上記実施例4では、2つのコア形状から斜線部を適当に選んだように見えるが、この選び方は、一定の法則に従って行わなくてはならない。その法則とは、斜線部で選んだ部分と、選んでいない部分には、磁極との位置関係が一致する部分から同数ずつ選ばなければならないということである。この法則を守らずに適当に組み合わせても、コギングトルクの低減効果は得られないばかりか、各相のバランスが崩れモータの特性が悪化する場合もある。

【0152】また、上記の法則を守った上でコア形状を適時組み合わせて構成すれば、図20のようなコア形状以外にも、図22に示すような、小歯のピッチが電気角で $360^\circ$ より大きいコア形状、あるいは、図23に示す、小歯のピッチが、 $360^\circ$ より大きい突極と、小歯のピッチが、 $360^\circ$ より小さい突極とが繰り返すコア形状、あるいは、図24に示す、小歯のピッチは $360^\circ$ であるが、突極先端部のピッチが変化するコア形状、さらには、図25に示す、小歯の開角が左右で所定角度異なる形状、その他様々な形状が構成できる。

【0153】なお、上記は電気角で $30^\circ$ 位相が異なるコア形状を組み合わせたが、丁度 $30^\circ$ に一致しなくとも、 $\pm 10\%$ 程度の範囲で角度を調整することにより、コギングトルクの基本周期成分は約70%除去されるため、十分な効果が得られる。

【0154】また、上記は全てコギングトルクの位相が $180^\circ$ 異なる2つの形状を組み合わせる例を示したが、図26(a)に示すような、突極あたりの小歯数が3個の場合、図26(b)、(c)、(d)に示すような位相が電気角で $20^\circ$ ずつ異なるコア形状を組み合わせて構成することにより、同様にコギングトルクを低減することが可能となる。

【0155】以上より、一般的にはブラシレスモータが

3相構造の場合、前記突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、コアの軸方向断面形状が、回転方向に電気角で $60^\circ/n \pm 10\%$ ずつずらしたn個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成することによりコギングトルクの小さいモータを提供することができる。

【0156】なお、上記では詳しく説明しなかったが、図20(a)あるいは、図26(a)に示すような小歯のピッチが $360^\circ$ より小さくなるように構成する。

【0157】より一般的には3相モータの場合、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をn、小歯のピッチを電気角で $\beta$ (°)とした場合に、(数3)の関係を満足するように設定すると、結果的に隣り合う突極間の隙間が大きく取れ、突極間の磁気的な干渉を抑え、さらにコイルを巻回する時の作業性が良くなる等の効果も得られる。

【0158】また、図25(a)に示すように小歯の開角を左右で所定角度変えて構成した場合は、コアと永久磁石の磁気吸引力が左右で異なる状態となり、常にロータが軸受の一方向に押さえつける状態となり、軸受に焼結油軸受等のシャフトと軸受の間にクリアランスを有する軸受を使用した場合、シャフトのがたつきを抑え、回転精度を向上させる効果も得られる。

【0159】なお、上記実施例3および4では、コア形状のみで、コギングトルクを低減する方法を説明したが、上記実施例2で示したスキー着磁と組み合わせることにより、さらに一段とコギングトルクを低減できる。

【0160】上記実施例2では、スキー角度θは基本コギングトルク周期にはほぼ一致するよう設定したが、上記実施例3および4に示したコア形状の場合、元々発生するコギングトルクの1次成分はほぼ除去されているために、従来の半分の角度のスキー着磁でも十分なコギングトルク低減効果を得ることができる。

【0161】つまり一般的には、永久磁石の磁極数をp、コアの突極数をzとした場合、(数4)(kはpとzの最小公倍数)の関係が成立するようスキー角度θを設定することで、コギングトルクの低減と、モータ体積効率を両立できる。

【0162】(実施例5)上記実施例4では、コアの断面形状に着目してコギング、本実施例5では、断面形状を軸方向に分けて構成し、コギングトルクを低減する方法を示す。

【0163】図27(a)、(b)、(c)に示すとおり本実施例5では、コア3の形状を上、中、下3段に分けて構成している。

【0164】上段および下段部のコア形状は同一で、図27(b)に示すように小歯の開角が12個全て電気角で $150^\circ$ であり、中断のコア形状は図27(c)に示すように小歯の開角が12個全て電気角で $210^\circ$ の形

状としている。

【0165】また、本実施例5のコアは、上記小歯の開角以外に、上段および下段部の突極巻線部の幅w1が中段部の突極巻線部の幅w2より細く形成されているという特徴がある。

【0166】本実施例5のコア形状も基本的には、上記実施例4と同様の手法で構成されている。

【0167】図27(b)に示すコア3の上段および下段部の形状は、図27(d)、(e)のコア3-1、3-2形状の斜線部分を組み合わせて構成されており、図27(c)に示すコア3の中段部の形状は、図27(d)、(e)のコア3-1、3-2の形状の斜線部分以外を組み合わせて構成されている。

【0168】さらに本実施例5のコア3では、突極巻線部の幅を小歯の開角に合わせて、上段および下段部の突極巻線部の幅w1を中段部の突極巻線部の幅w2より細く形成している。これは、小歯の開角が小さい上、下段部は、小歯を通る磁束量が少ないために、突極巻線部を細くしても、磁気特性上の問題がないためである。

【0169】一方、このように、突極巻線部を細くすると、以下に示すような効果が得られる。

【0170】図28(a)は本実施例5のコアの突極巻線部の断面を、図28(b)は比較のために従来のコアの突極巻線部の幅が一定の場合の突極巻線部の断面を示している。

【0171】図28(a)、(b)に示すように、コアには、絶縁皮膜10が施され、そこにコイル4が巻回される構成となっている。

【0172】ここで、図28(a)の場合と、図28(b)の場合を比較すると明らかのように、コイル1ターン当たりの長さは、図28(a)の場合の方が短くて済む。このため、同一の線径のコイルで巻回した場合、図28(a)の場合の方がコイル抵抗の値が低くなり、モータの体積効率が高くなる。また、コイル4の形状が、六角形状となり、コアエッジ部にかかる圧力が6ヶ所に分散されるため、図28(b)の場合よりも薄い絶縁皮膜でも、同等の絶縁性能を維持でき、絶縁皮膜を薄くして、さらにコイルを巻き込むことにより、一段とモータの体積効率を向上できる。

【0173】(実施例6) 上記実施例4、5では、コアを1つの突極あたりの小歯数nと一致する数の基本コア形状を組み合わせて作成したが、若干複雑になるものさらに多くの基本形状を組み合わせる構成をとることにより、さらに一段とコギングトルクを低減できる。

【0174】図29(a)は本実施例6のコア形状を示している。

【0175】図29(a)に示すとおり、本実施例のコアでは、小歯のピッチが電気角で315°の突極と、小歯のピッチが電気角で345°の突極とが交互に繰り返す構成となっている。

【0176】この形状は、図29(b)、(c)、(d)、(e)に示す電気角で15°ずつ位相の異なる4つの基本形状の斜線部分を組み合わせて構成されている。

【0177】このように、組み合わせる基本形状の数を増やすことにより、若干形状が複雑になるものの、上記実施例4、5では除去し切れなかったコギングトルクの2次成分等さらに高次のコギングトルクまでキャンセルできるため、さらにコギングトルクを低減できる。

【0178】一般的には、3相構造のモータの場合、1相分の突極あたりに設けられた小歯の合計歯数をNとした場合に、コアの軸方向断面形状が、回転方向に電気角で60°/N°±10%ずつずらしたN個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成することにより、コギングトルクの非常に低いモータを提供できる。

【0179】(実施例7) 本実施例7では上記実施例3の小歯の開角を設定する方法と、上記実施例4、5で示した複数の基本コア形状を組み合わせて作成する方法を組み合わせ、さらに一段とコギングトルクを低減できる方法を示す。

【0180】図30(a)は本実施例7のコア形状を示す説明図である。

【0181】図30(a)に示すとおり、本実施例のコア3の形状は、各突極5には小歯6が3個ずつ設けられており、各小歯6のピッチが電気角で350°であるとともに、各小歯6の開角が電気角で150°に構成されている。

【0182】このコア形状は、図30(b)、(c)、(d)に示す位相が電気角で10°ずつずれた3つのコア形状の斜線部を組み合わせた形状である。

【0183】これら3つのコア3-1、3-2、3-3の形状は、上記実施例3で示した小歯の開角が電気角で150°に設定されている形状である。

【0184】本実施例7のコア3のコギングトルク低減原理について、図31を用いて説明する。

【0185】3つのコア3-1、3-2、3-3の形状は元々突極の開角が150°であることにより、図31(a)、(b)、(c)の実線で示すとおり、コギングトルクの周期が基本コギングトルク周期の2分の1の周期(電気角30°周期)で、絶対値も低減されたコギングトルクを発生する。

【0186】そして、これら3つのコア形状は位相が電気角で10°ずつずらして構成されているために、これらコア形状を3分の1ずつ合成した、本実施例7のコア形状のコギングトルクは、コギングトルクがお互いにキャンセルされ図31(d)に示すように振幅も大幅に小さく、周期も元の波形の3分の1以下の周期になっている。

【0187】このように、元々コギングトルクが小さく、コギングトルクの周期が短い実施例3のコア形状を

23 基本形状として使用することにより、上記実施例4、5の半分の角度ずれのコア形状を組み合わせることにより、大幅なコギングトルク低減効果が得られる。

【0188】一般的にはモータが3相構造であり、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をnとした場合に、コアの軸方向断面形状が、突極に設けられた小歯の開角が電気角で $145^\circ \sim 160^\circ$ である基本形状をベースとして、回転方向に電気角で $30/n^\circ \pm 10\%$ ずつずらしたn個のコア基本形状を適時組み合わせた形状に構成するとよい。

【0189】さらに、図30(a)で示したような、小歯のピッチが電気角で $360^\circ$ より小さい形状に形成する。一般的には、突極1極あたりに設けられた小歯の歯数をn、小歯のピッチを電気角で $\beta$ (°)とした場合に、(数5)の関係を満足するように設定すると、結果的に隣り合う突極間の隙間が大きく取れ、突極間の磁気的な干渉を抑え、さらにコイルを巻回する時の作業性が良くなる等の効果も得られる。

【0190】以上実施例1から7によれば、ブラシレスモータの体積効率を従来の2倍以上に向上することが可能となり、同一特性でもより小型のモータを提供できる。あるいは、従来と同一サイズの場合は、大幅な出力アップが可能となり、モータを使用した機器の機能を向上することができる。

【0191】例えば、本発明のブラシレスモータを携帯情報端末、携帯型MDプレーヤ等に使用することにより、同一特性でも小型で軽量なモータを提供でき、機器の小型化、軽量化を達成できる。

【0192】また、本発明のブラシレスモータをOA機器、家電機器等の駆動源に使用することにより、同一サイズでも高出力なモータを提供でき、機器のサイズを大きくすることなく機器の高速化、高機能化を達成できる。

【0193】また、本発明のブラシレスモータをロボットの関節駆動用アクチュエータに使用することにより、同一サイズ、重量でも高出力なモータを提供でき、産業用ロボット等の応答性能を向上できるとともに、現在は2足歩行程度に留まっている人型ロボットの動作を、走る、跳ぶ、投げる等より人間に近い高機能動作をさせるようになることが可能となる。

【0194】またさらに、本発明のブラシレスモータを、燃料電池自動車、電気自動車に代表される輸送用機器の車輪駆動用に使用することにより、同一特性でも小型、軽量のモータを提供することができ、車体の軽量化による走行性能の向上、あるいは燃費の向上を実現することができる。また、小型でも十分な出力を得るので、モータを車輪内に収めるいわゆるインホール型のモータとしても適している。

【0195】

【発明の効果】上記実施例の記載から明らかのように、

請求項1記載の発明によれば、モータの体積効率を飛躍的に向上し、同一特性のモータの小型化、あるいは同一サイズのモータの高効率化、高出力化ができるという有利な効果が得られる。

【0196】また、このモータを機器に搭載することにより、機器の小型化、あるいは機能向上を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1によるブラシレスモータの磁気回路構成を示す説明図

【図2】従来型ブラシレスモータの磁気回路構成を示す説明図

【図3】従来型ブラシレスモータの磁気回路構成を示す説明図

【図4】本発明の実施例1による各ブラシレスモータの比較表を示す図

【図5】本発明の実施例1によるブラシレスモータの磁束の流れを示す説明図

【図6】本発明の実施例1による永久磁石の最大エネルギー積とモータ体積効率の関係を示す図

【図7】本発明の実施例1によるもう1例のブラシレスモータの磁気回路構成を示す説明図

【図8】本発明の実施例1によるモータアスペクト比とモータ体積効率の関係を示す図

【図9】本発明の実施例1による2層構造マグネット体の構成例を示す図

【図10】本発明の実施例1による磁石貼付け型マグネット体の構成例を示す図

【図11】本発明の実施例1による磁石埋め込み型マグネット体の構成例を示す図

【図12】本発明の実施例1によるインナーロータ型ブラシレスモータの磁気回路構成を示す説明図

【図13】本発明の実施例2によるブラシレスモータの永久磁石の着磁分布を示す図

【図14】本発明の実施例2による着磁スキー角度とモータ特性の関係を示した図

(a) コギングトルクを示す図

(b) モータ体積効率を示す図

【図15】本発明の実施例3によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図16】本発明の実施例3におけるコギングトルク波形を示した図

(a) 小歯の開角が電気角で $120^\circ$ のコギングトルクの波形を示す図

(b) 小歯の開角が電気角で $150^\circ$ のコギングトルクの波形を示す図

(c) 小歯の開角が電気角で $180^\circ$ のコギングトルクの波形を示す図

【図17】本発明の実施例3における小歯でのコギングトルク発生を示す説明図

【図18】本発明の実施例3におけるコギングトルク波形を示した図

(a) 小歯エッジ部6-1で発生するトルク波形を示す図

(b) 小歯エッジ部6-2で発生するトルク波形を示す図

(c) (a)、(b)の合成トルク波形を示す図

(d) モータ全体での合成トルク波形を示す図

【図19】本発明の実施例3による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(a) 小歯先端にRを設けたコア形状を示す図

(b) 小歯先端に面取りを設けたコア形状を示す図

【図20】(a) 本発明の実施例4によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例4によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例4によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図21】本発明の実施例4におけるコギングトルク波形を示した図

(a) コア3-1で発生するコギングトルクの波形を示す図

(b) コア3-2で発生するコギングトルクの波形を示す図

(c) 本実施例4のコアのコギングトルク波形を示す図

【図22】(a) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図23】(a) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図24】(a) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図25】(a) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図26】(a) 本発明の実施例4による別のブラシレ

スモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(d) 本発明の実施例4による別のブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図27】本発明の実施例5によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(a) 正面図

(b) x-x'およびz-z'断面図

(c) y-y'断面図

(d)、(e) 基本コア形状を示す図

【図28】本発明の実施例5によるコア突極の断面を従来と比較した図

(a) 本実施例の断面形状を示す図

(b) 従来の断面形状を示す図

【図29】(a) 本発明の実施例6によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例6によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例6によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(d) 本発明の実施例6によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(e) 本発明の実施例6によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図30】(a) 本発明の実施例7によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(b) 本発明の実施例7によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(c) 本発明の実施例7によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

(d) 本発明の実施例7によるブラシレスモータのコア形状を示す説明図

【図31】本発明の実施例7におけるコギングトルク波形を示した図

(a) コア3-1で発生するコギングトルクの波形を示す図

(b) コア3-2で発生するコギングトルクの波形を示す図

(c) コア3-3で発生するコギングトルクの波形を示す図

(d) 本実施例7のコアのコギングトルク波形を示す図

【図32】従来のブラシレスモータの構造を示す図

(a) 軸方向断面図

(b) 軸垂直方向断面図

【図33】従来のHB型ステッピングモータの構造を示す図

(a) 軸方向断面図

## (b) 軸垂直方向断面図

【図3・4】先行技術の3相ステッピングモータを示す図

(a) 先行技術の3相ステッピングモータの磁気回路構成を示す説明図

(b) 先行技術の3相ステッピングモータのロータ構造図

(c) 従来のHB型ステッピングモータのロータ構造図  
【符号の説明】

1 永久磁石

2 バックヨーク

3、3-1、3-2、3-3、3-4 コア

4 コイル

5、5-1、5-2、5-3、5-4、5-5、5-6 突極

6 小齒

7、7-1、7-2 磁束

8 永久磁石層

9 バックヨーク層

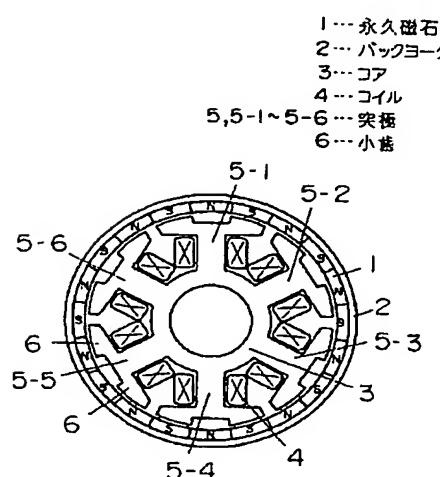
10 絶縁皮膜

11 回転子鉄心

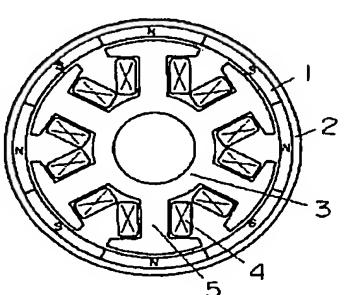
12 シャフト

13 軸受

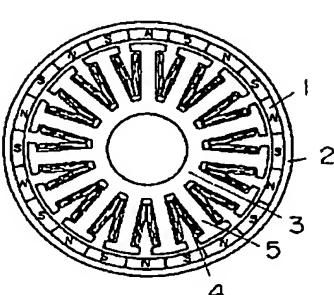
【図1】



【図2】

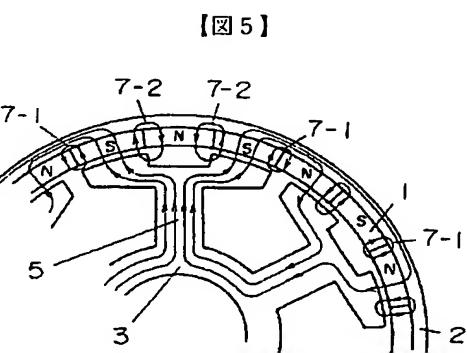


【図3】

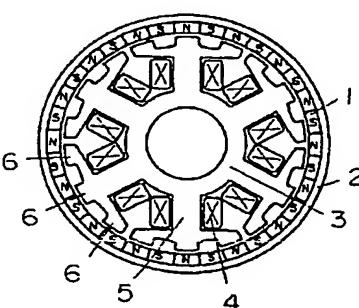


【図4】

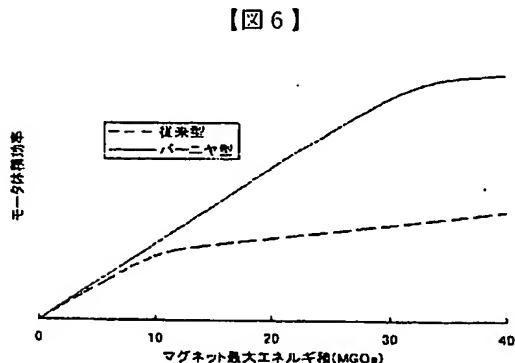
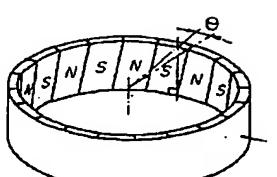
	図1 バーニヤ型	図2 従来型	図3 従来型
有効磁束数 $\Phi$	0.8倍	1.0倍	0.4倍
コイルターン数 $t$	1.0倍	1.0倍	1.0倍
磁極数 $m$	20極	8極	20極
突極数 $z$	6極	6極	15極
コイル抵抗 $R$	1.26倍	1.0倍	4.0倍
体積効率 $\eta$	3.2倍	1.0倍	1.55倍



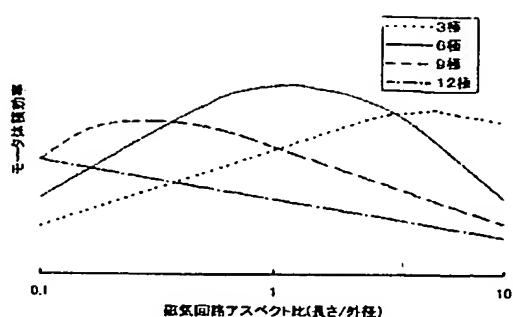
【図7】



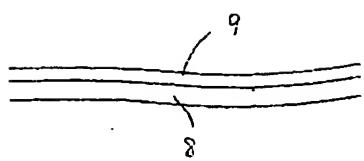
【図13】



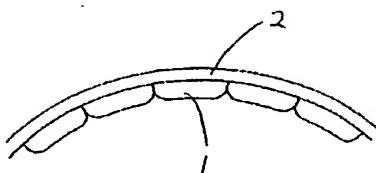
【図8】



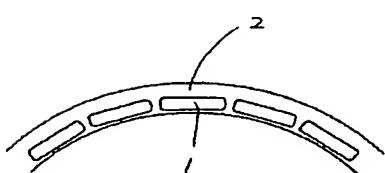
【図9】



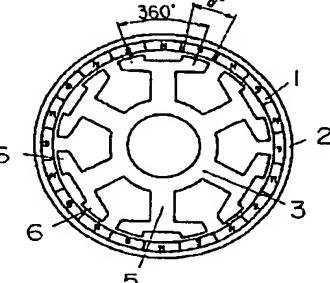
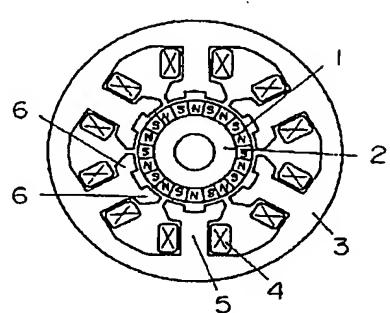
【図10】



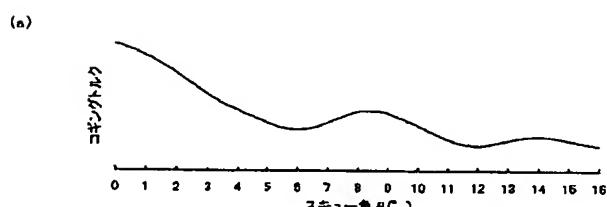
【図11】



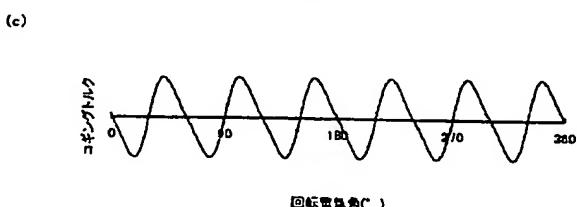
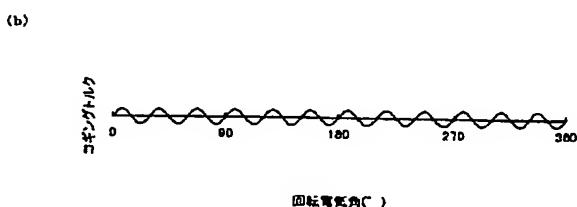
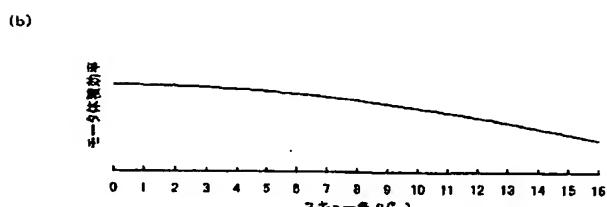
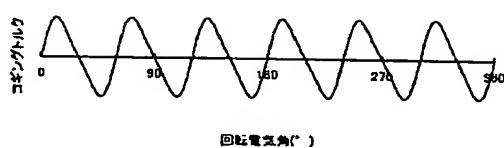
【図12】



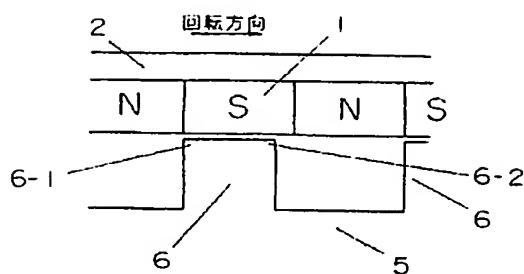
【図14】



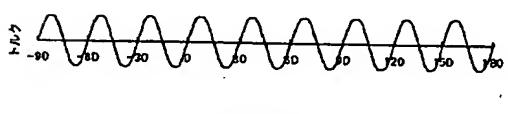
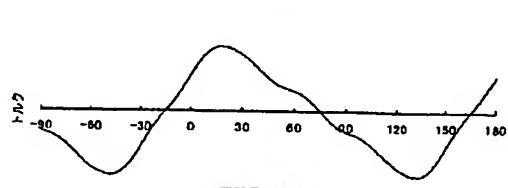
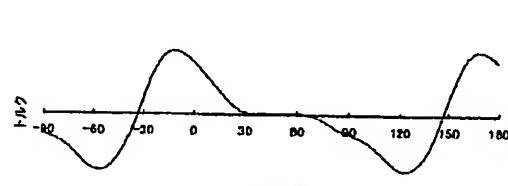
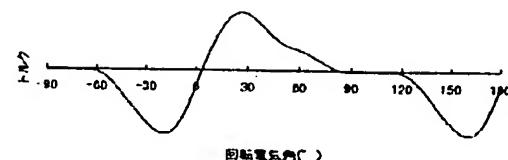
【図16】



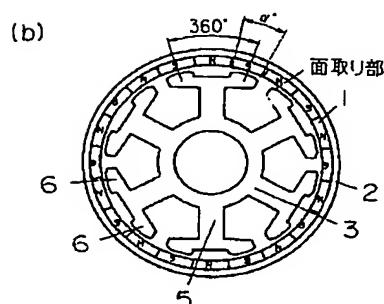
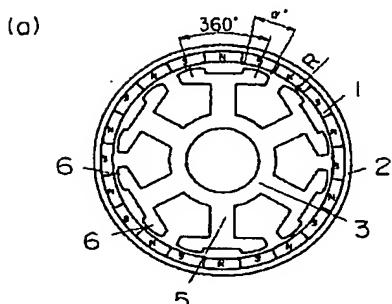
【図17】



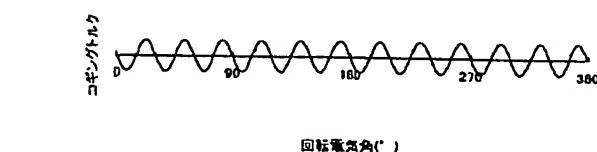
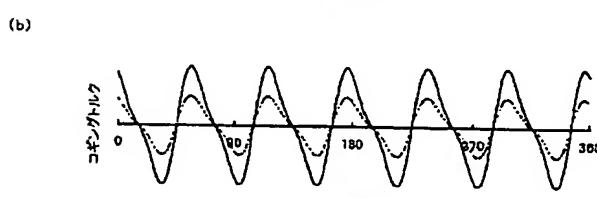
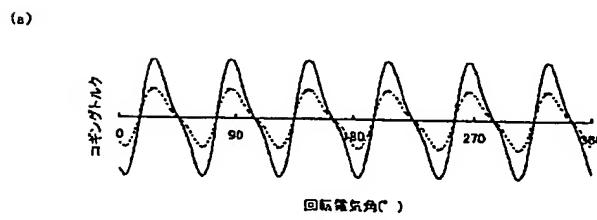
【図18】



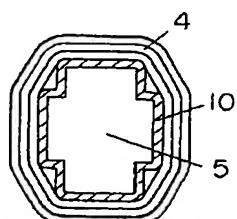
【図19】



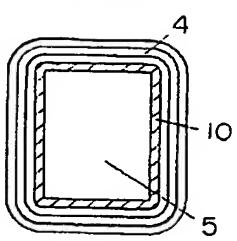
【図21】



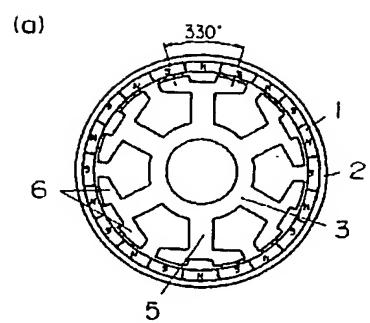
(a)



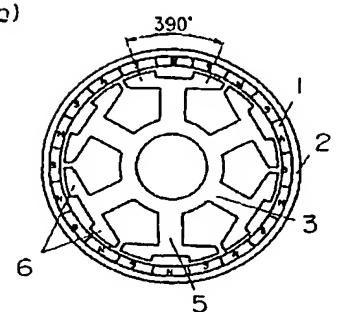
(b)



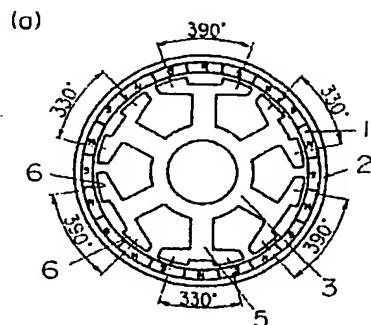
【図20】



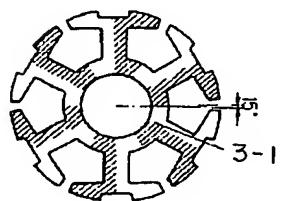
【図22】



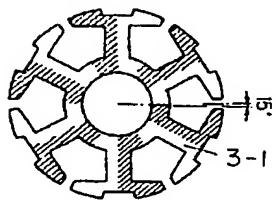
【図23】



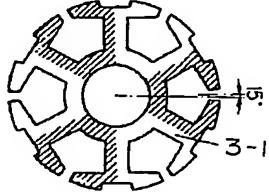
(b)



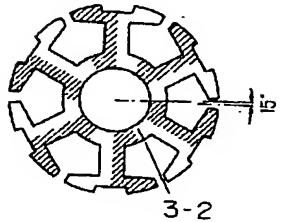
(b)



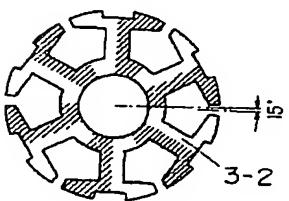
(b)



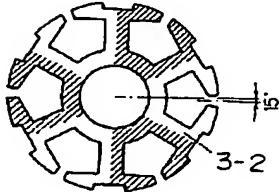
(c)



(c)

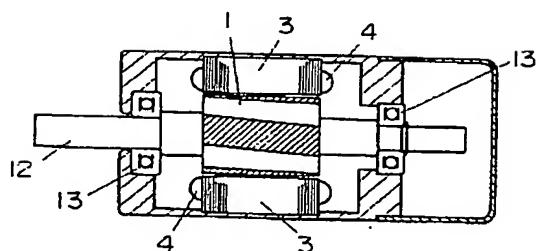


(c)

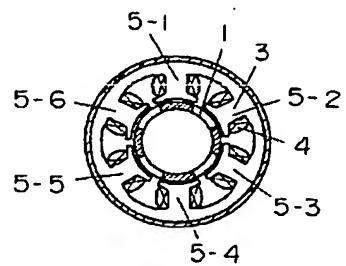


【図32】

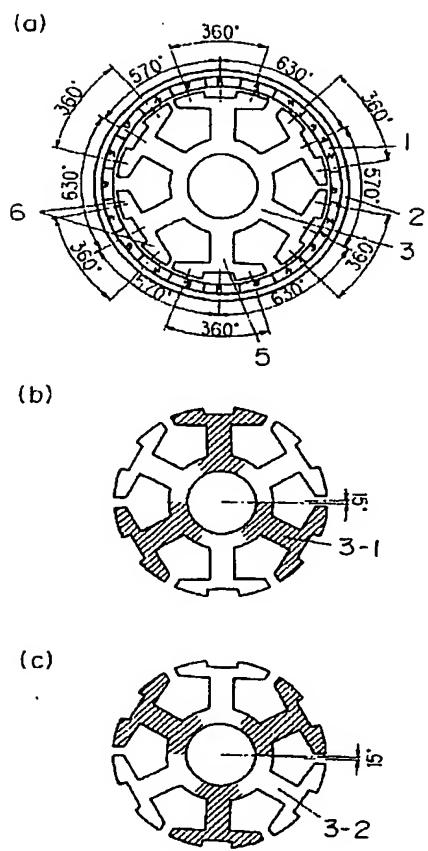
(a)



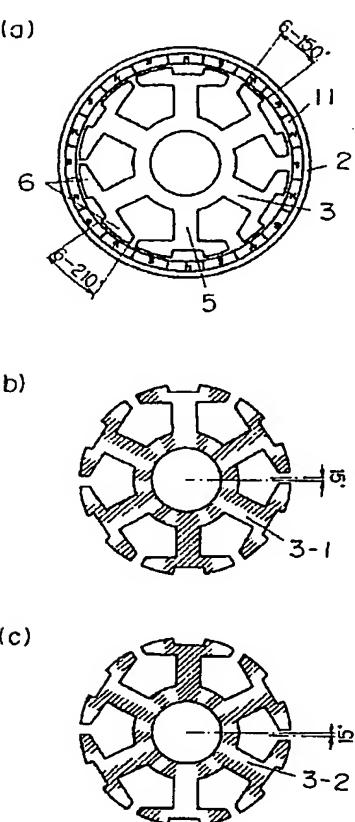
(b)



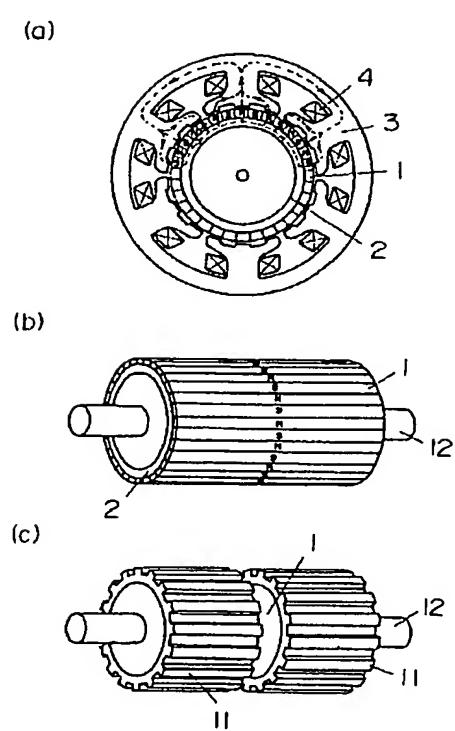
【図24】



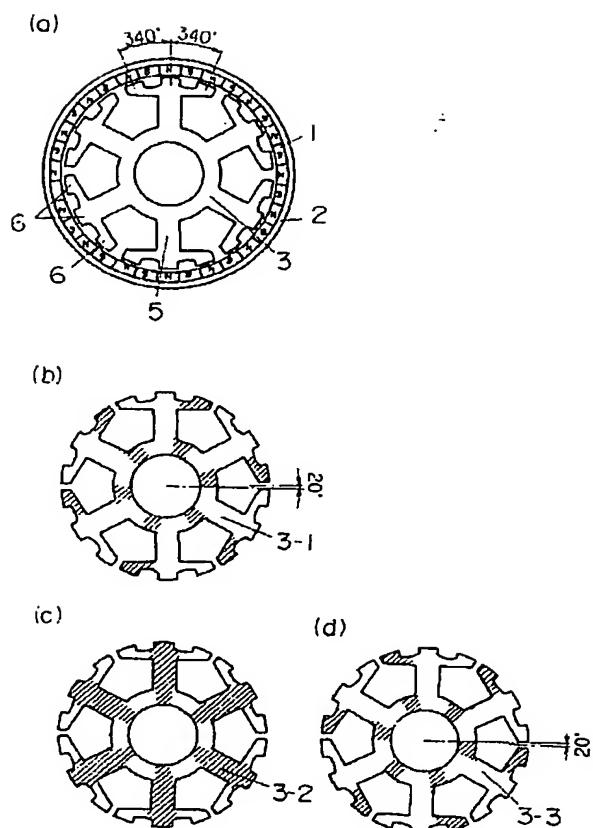
【図25】



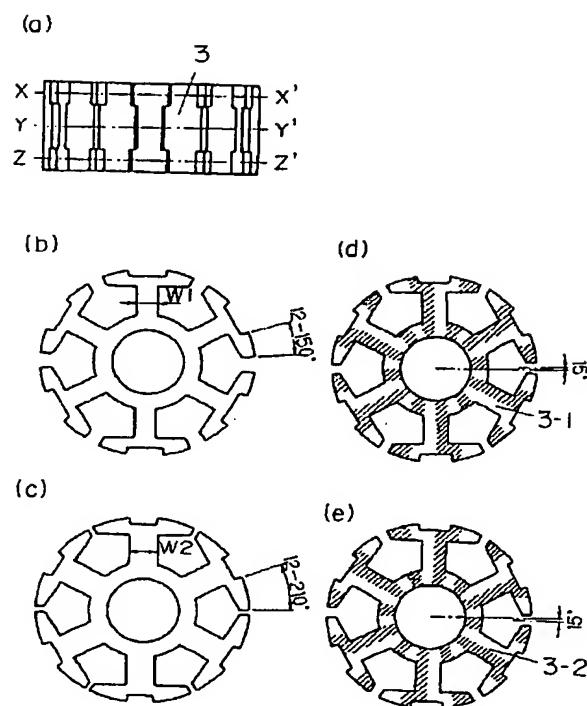
【図34】



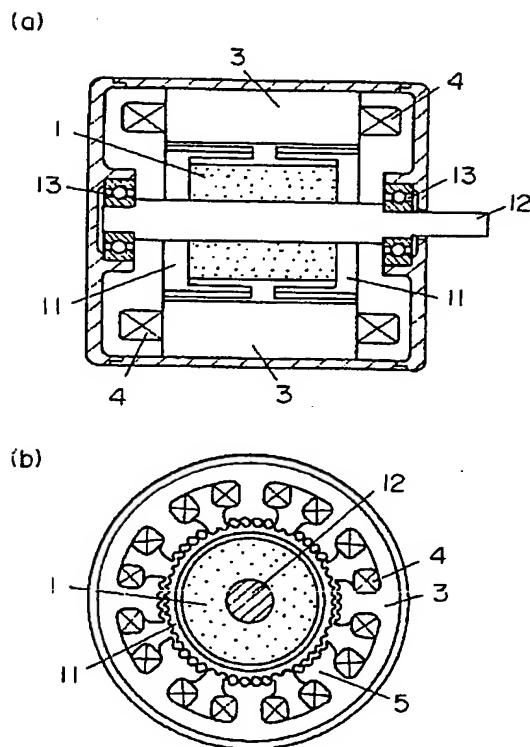
【図26】



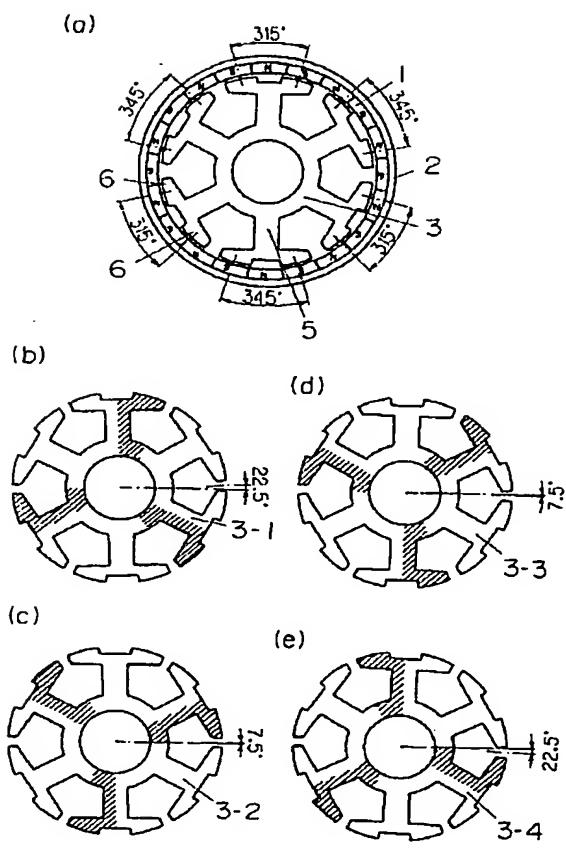
【図27】



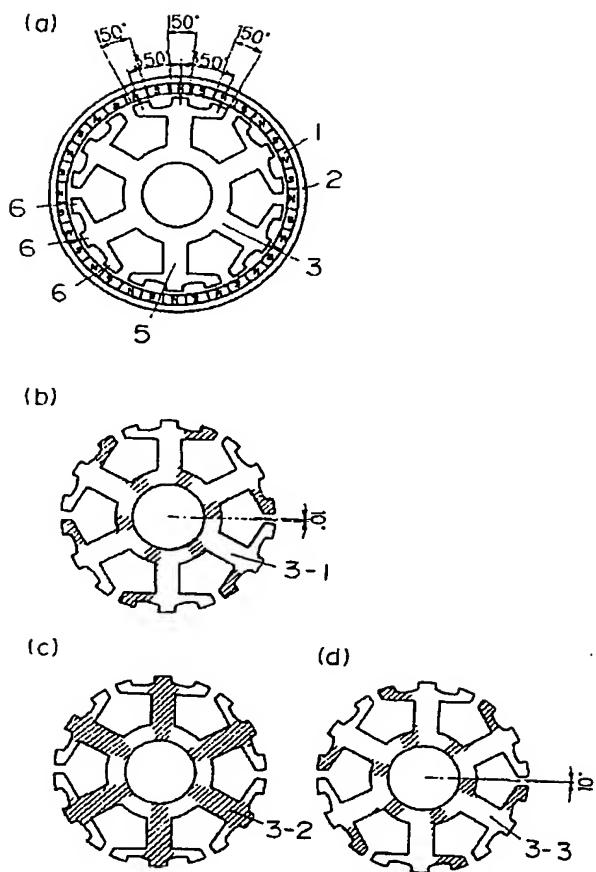
【図33】



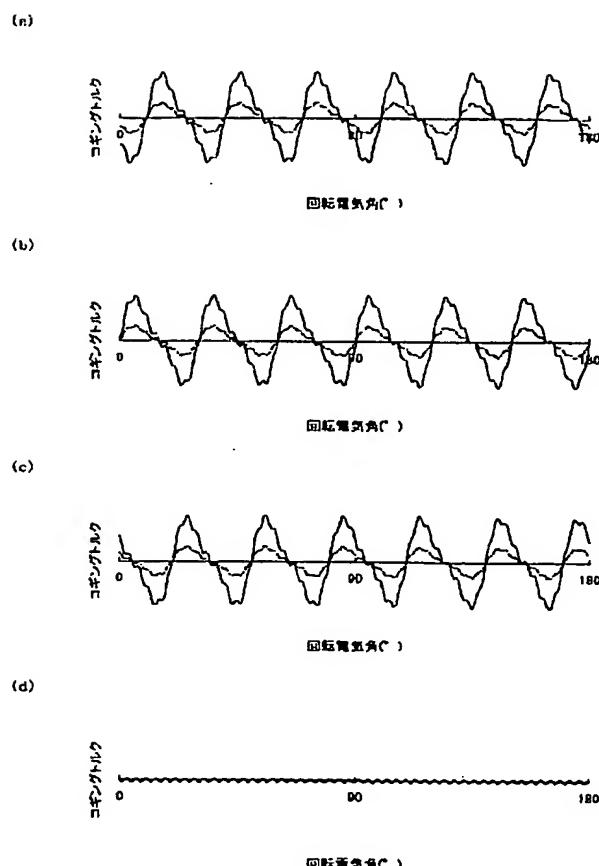
【図29】



【図30】



【図31】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
// H 0 2 K 1/16

識別記号

F I  
H 0 2 K 1/16テマコト<sup>®</sup> (参考)  
C

F ターム (参考) 5H002 AA03 AA09 AE07  
 5H019 AA03 CC04 DD01 EE01 EE04  
 5H621 AA02 BB07 GA01 GA04 GA14  
 GA17 GB08 HH01 PP10  
 5H622 AA02 CA01 CA05 CA10 DD02  
 QB01